

Scientific journal

PHYSICAL AND MATHEMATICAL EDUCATION

Has been issued since 2013.

Науковий журнал

ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА ОСВІТА

Видається з 2013.

ISSN 2413-158X (online)

ISSN 2413-1571 (print)

<http://fmo-journal.fizmatsspu.sumy.ua/>

Voronkin O.S. Суб'єктивні та об'єктивні характеристики звуку (методична розробка лекції) // Фізико-математична освіта : науковий журнал. – 2017. – Випуск 2(12). – С. 42-50.

Voronkin O.S. Subjective And Objective Characteristics Of Sound (methodical development of the lecture) // Physical and Mathematical Education : scientific journal. – 2017. – Issue 2(12). – P. 42-50.

УДК 534

О.С. Воронкін

КЗ «Севєродонецьке обласне музичне училище ім. С.С. Прокоф'єва», Україна  
alex.voronkin@gmail.com

### СУБ'ЄКТИВНІ ТА ОБ'ЄКТИВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВУКУ (методична розробка лекції)

**Анотація.** Стаття розкриває матеріали відкритої лекції на тему «Характеристики звуку», підготовленої та прочитаної в Комунальному закладі «Севєродонецьке обласне музичне училище ім. С. С. Прокоф'єва» у межах навчальної дисципліни «Фізика». Розглядаються об'єктивні (інтенсивність, частота, амплітудно-частотний спектр) і суб'єктивні (гучність, висота, тембр) характеристики звуку, досліджується зв'язок між ними. Спрощено розкриваються фізичні особливості будови слухового аналізатора людини та механізму сприйняття звуку людиною. Показано доцільність використання сукупності апаратних і програмних засобів під час вивчення зазначеної теми. Акцентовано увагу на застосуванні методу комп'ютерного моделювання акустичних явищ і процесів з метою покращення фахової підготовки студентів вищих навчальних закладів культури і мистецтв I-II рівнів акредитації. Робиться висновок, що посилення міждисциплінарних зв'язків фізики, математики, біології та музичного мистецтва дозволяє студентам розвивати вміння виокремлювати головне у навчальному матеріалі, порівнювати, узагальнювати, робити висновки, розвивати спостережливість, логічне мислення, пам'ять та увагу.

**Ключові слова:** організація навчання фізики, міжпредметні зв'язки, комп'ютерне моделювання.

**Постановка проблеми.** Новий Закон України «Про освіту» передбачає три рівні повної загальної середньої освіти: початкова освіта (тривалість чотири роки); базова середня освіта (тривалість п'ять років); профільна середня освіта (тривалість три роки). Планується, що у рамках профільної освіти старшокласник буде обирати один з двох спрямувань: академічне навчання (із поглибленим вивченням окремих предметів з орієнтацією на продовження навчання в університеті) або професійне навчання (поряд з отриманням повної загальної середньої освіти забезпечуватиме отримання першої професії). Разом з тим багато дидактів і науковців залишаються впевненими, що фізика, незалежно від вибору спрямованості, «повинна залишатися обов'язковим предметом» [1]. Насамперед тому, що фізика є найбільш систематизованою природничою наукою, на досягненнях якої значною мірою базується сучасна картина світу [2].

Сьогодні особливої уваги потребує проблема підготовки фахівців музичного профілю у вищих навчальних закладах (ВНЗ), в яких фізика вивчається за програмою підготовки молодших спеціалістів на основі базової загальної середньої освіти для ВНЗ I–II рівнів акредитації. У багатьох з цих закладів ця дисципліна не вивчається студентами з особливою зацікавленістю й інтересом. На базові проблеми, притаманні вітчизняній системі фізичної освіти, ми неодноразово звертали увагу у публікаціях [3–5]. Це і брак фізичного й демонстраційного устаткування, це й падіння престижності фізичної науки, це й необхідність адаптування курсів з урахуванням вимог особистісно зорієнтованого навчання тощо. Разом з тим специфічним завданням викладача фізики стає формування інтересу до фізичної науки, фізичного експерименту, створення дружньої співтворчості. «Тільки тоді студенти мають можливість відчувати емоційне задоволення від опанування нового матеріалу. У цьому сенсі можна казати й про розвиваюче значення курсу фізики – студенти мають вчитися знаходити причини явищ, пояснювати їх, що вимагає більшої

розумової діяльності ніж запам'ятовування визначень, постулатів, законів і математичних формул» [6]. Акцент зміщується з формування сукупності знань на формування інноваційного стилю мислення.

**Аналіз актуальних досліджень.** Теоретичні та методичні засади навчання фізики у ВНЗ та розвитку системи професійної підготовки викладача фізики знайшли відображення у науково-методичних розвідках І. Богданова, С. Величка, Г. Бушка, А. Касперського, О. Коновала, І. Сальник, О. Сергєєва, В. Сергієнка, Т. Скубія, Н. Сосницької, Б. Суса, М. Шута та ін.; проблеми формування та розвитку фізичної освіти на засадах особистісно-орієнтованого та діяльнісного підходів у своїх працях висвітлювали К. Баханов, Ю. Галатюк, І. Зязюн, О. Іваницький, О. Пінчук, Г. Селевко, М. Степаненко, В. Шарко та ін.

Враховуючи те, що акустичні питання відіграють значну роль у підготовці студентів, які навчаються за спеціальністю 025 «Музичне мистецтво», розгляд споріднених тем на занятті з фізики сприятиме розвитку у майбутніх фахівців інтегрованого (міждисциплінарного) бачення світу.

**Мета статті** полягає у розкритті методичних аспектів розробки та проведення *лекції* «Характеристики звуку» з курсу «Фізика» для студентів ВНЗ культури і мистецтв, що навчаються за спеціальністю «Музичне мистецтво».

**Виклад основного матеріалу.** На початку заняття доцільно нагадати, що джерелом звуку є будь-яке тіло, яке знаходиться у пружному середовищі й коливається зі звуковою частотою. Чим більша площа його поверхні, тим кращими є випромінювальні властивості. Звук може поширюватися у вигляді поздовжніх і поперечних хвиль. У газоподібних і рідких середовищах виникають тільки поздовжні хвилі, в твердих тілах, крім поздовжніх, виникають також і поперечні хвилі.

Для опису фізичних параметрів звуку існують два підходи, між якими існує певний зв'язок. Перший підхід засновано на дослідженні так званих об'єктивних характеристик за допомогою фізичних приладів. Другий підхід базується на сприйнятті звуку слуховим апаратом людини – вухом (суб'єктивні характеристики).

*Суб'єктивні характеристики* – це параметри звукового відчуття, яке виникає у людини із впливом звукових хвиль (гучність звуку, висота тону, тембр).

**Гучність звуку.** Гучністю називають суб'єктивну якість, що визначає силу слухового відчуття, яке викликається звуком у слухача. Гучність головним чином залежить від такої характеристики хвилі як її амплітуда: чим більшою (меншою) є амплітуда коливань, тим звук – голосніше (тихіше). Також на сприйняття гучності звуку людиною впливає його частотний склад, локалізація в просторі, тривалість дії та інші фактори. Звук буде тим голосніше, чим більше пружність середовища поширення. Наприклад, на високих горах, де повітря більш розріджене, гучність звуку від одного і того ж джерела буде меншою, ніж у підніжжя гори.

В акустиці для кількісної оцінки гучності застосовують метод суб'єктивного порівняння вимірюваного звуку з еталоном, в якості якого застосовується синусоїдальний тон частотою 1 кГц. У процесі порівняння рівень еталонного тону змінюють доти, поки еталонний і вимірюваний звуки не сприйматимуться людиною рівногучними.

**Висота звуку.** Звукові коливання, що відбуваються за гармонічним законом, сприймаються людиною як певний музичний (синусоїдальний) тон. Коливання високої (низької) частоти сприймаються як звуки високого (низького) тону. Термін «висота» доцільно застосовувати до характеристики синусоїдального тону, проте в музичній практиці широко використовується термін «висота ноти». Так як звучання тієї або іншої ноти в загальному випадку складається із суми тонів, то під висотою ноти розуміють висоту найнижчого тону, який випромінює нота.

**Тембр.** Звуки, з якими ми зустрічаємося в реальному житті, майже ніколи не бувають «чистими» (монохроматичними). Їх можна збудити тільки за спеціальних умов. Звукові коливання, які не відповідають гармонічному закону, сприймаються людиною як складний звук, що має тембр. Реальні звуки є суперпозицією пружних хвиль різної частоти. Джерело звуку разом з основним коливанням випромінює хвилі з частотами в 2, 3, 4, 5, ... разів більшими основної частоти. За прийнятою у музиці термінологією ці коливання називаються, відповідно, основним тоном і обертонами (1-м, 2-м, 3-м, 4-м тощо). У фізиці використовується інша термінологія: основний тон називають 1-ю гармонікою, а обертони – вищими гармоніками – 2-ю, 3-ю, 4-ю, 5-ю. Перша гармоніка визначає висоту звуку, вищі гармоніки додають звуку специфічне забарвлення – тембр. Тембр – це суб'єктивна оцінка спектрального складу звуку.

Тембр залежить від числа вищих гармонік і відношення їх амплітуд до амплітуди основної гармоніки та, як правило, не залежить від фаз вищих гармонік. Продемонструємо це. Синтезуємо звук, використовуючи гучномовець і чотири генератори синусоїдальних коливань із параметрами вказаними на рис. 1,а. Придамо початковій фазі третього коливання приріст  $+\pi/2$  ( $90^\circ$ ). З осцилограми на рис. 1,б бачимо, що форма сумарного сигналу змінилася, разом з тим слухачі сприймають ці звукові коливання як звук одного тембру. Дійсно, слух не реагує на зміну фазових співвідношень між гармонічними складовими складного сигналу в широкому діапазоні інтенсивності звуку, незважаючи на те, що змінюється форма сигналу. Саме тому в підсилювачах звукових частот фазові спотворення не нормують.

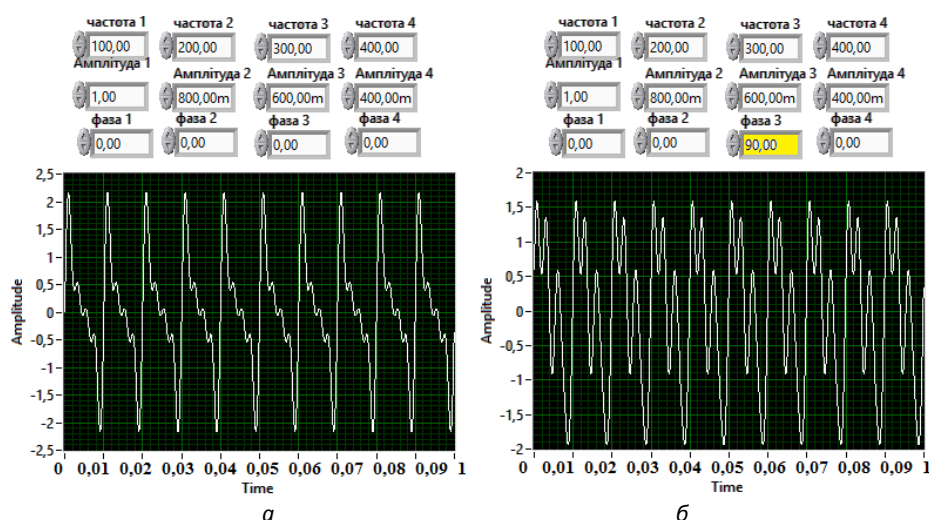


Рис. 1. Суперпозиція звукових хвиль

У різних музичних інструментів при звучанні однієї й тієї самої ноти відносні амплітуди вищих гармонік виявляються різними, що формує різний тембр. Однак спосіб звуковидобування також впливає на забарвлення звуку. Так, видобуваючи звук на смичкових струнних інструментах щипком (цей прийом гри отримав назву піцикато) ми отримаємо зовсім інший тембр, ніж при виконанні твору смичком.

Зі зміною форми рота людина надає перевагу однім гармонікам над іншими. Завдяки цьому ми навчилися вимовляти різні звуки (рис. 2). Гортань і порожнина рота людини є своєрідними природними резонаторами. Голосові зв'язки, на зразок струн, випромінюють звуки під дією потоків повітря, що йде з легенів. Ці звуки дуже слабкі, але, проходячи через резонатори, вони підсилюються і набувають тембр, за яким нам легко впізнати голос знайомої людини.

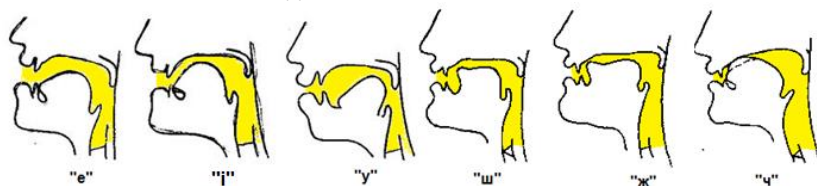


Рис. 2. Конфігурації рота і глотки при вимовленні звуків «е», «і», «у», «ш», «ж», «ч»

**Об'єктивні характеристики** – це параметри звукової хвилі, які задає джерело звуку, а саме – інтенсивність, частота і акустичний спектр.

**Інтенсивність (сила) звуку ( $I$ )** – фізична величина, що дорівнює середній енергії ( $W_{\text{сеп}}$ ), яку переносить звукова хвиля за одиницю часу ( $t$ ) через одиничну поверхню ( $S$ ), перпендикулярну до напрямку її поширення:  $I = \frac{W_{\text{сеп}}}{St}$ . Одиниця виміру в СІ –  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ . Інтенсивність звуку прямо пропорційна квадрату амплітуди звукового тиску і обернено пропорційна акустичному опору.

Зі збільшенням відстані від джерела звуку до слухача, сила звуку послаблюється. Рівень поглинання енергії при поширенні звукової хвилі в рідинах і газах залежить як від властивостей середовища (в'язкість, внутрішня теплопровідність), так і від частоти.

Людина починає чути, починаючи з порогу чутності (або слухового порогу). Однак чутливість людського вуха залежить від частоти звукових коливань, тому рівень порогу чутності для різних частот різний. Поріг чутності на частоті 1 кГц відповідає силі звуку  $I_0 = 10^{-12} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ , що еквівалентно звуковому тиску  $2 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$ . Зі збільшенням інтенсивності досягається умова нормальної чутності. Із подальшим зростанням інтенсивності звуку подразнення органу слуху стає болючим.

**Частота звукових коливань. Інтервали в музиці.** Нагадаємо, що лінійна частота як фізична величина дорівнює кількості повних коливань за одиницю часу. Вуху людини здатне сприймати як звук механічні коливання тіл, що відбуваються з частотою від 20 до 20000 Гц.

Сучасний музичний (рівномірно темперований) стрій, що є основним в європейській музиці з XIX ст., ділить кожну октаву на 12 частин, які називаються **півтонами**. Кожна дванадцята частина октави представляється відношенням  $\sqrt[12]{2}$ : 1. Округлені частоти першої гармоніки для нот від контроктави до четвертої октави наведено на рис. 3.

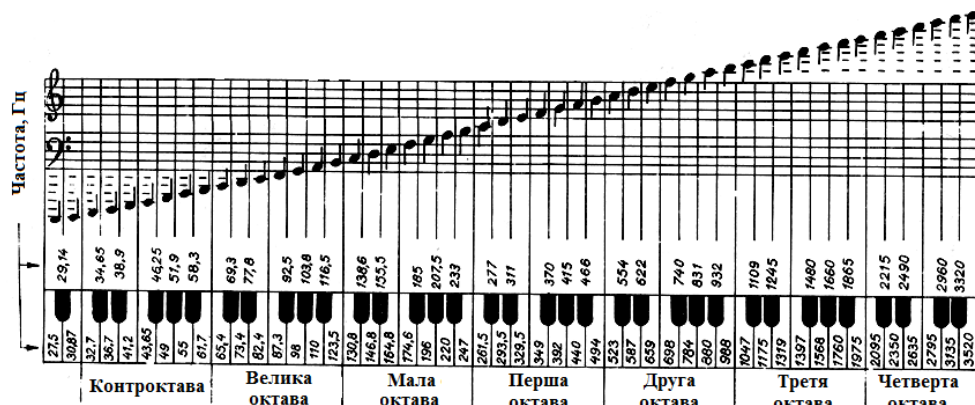


Рис. 3. Частоти першої гармоніки для нот від контроктави до четвертої октави, Гц

Математично можемо обчислити частоти для всього звукоряду, користуючись формулою:

$$f(i) = f_0 \cdot 2^{i/12},$$

де  $f_0$  — еталонна частота (Гц), а  $i$  — кількість півтонів в інтервалі від потрібного звуку до еталону  $f_0$ .

Наприклад, в якості еталону візьмемо частоту першої гармоніки ноти «ля» першої октави (440 Гц). Обчислимо частоту першої гармоніки ноти «соль», що розташована на 2 півтони нижче від еталону «ля», тобто  $i = -2$ :

$$f(-2) = 440 \cdot 2^{-\frac{2}{12}} \approx 391,99 \approx 392 \text{ Гц}$$

Інтервалом у музиці можемо назвати ціле відношення двох частот. Приклади деяких інтервалів зведено у табл. 1.

Таблиця 1

Приклади музичних інтервалів з відповідним відношенням частот

Назва музичного інтервалу	Відношення частот	Приклад	
		музичного інтервалу	відповідного відношення частот
Прима	$\frac{1}{1} = 1,00$		$\frac{261,5}{261,5} = 1,00$
Октава (подвоєння частоти)	$\frac{2}{1} = 2,00$		$\frac{523,0}{261,5} = 2,00$
Квінта	$\frac{3}{2} = 1,50$		$\frac{392,0}{261,5} \approx 1,50$
Кварта	$\frac{4}{3} \approx 1,33$		$\frac{349,0}{261,5} \approx 1,33$
Велика терція	$\frac{5}{4} = 1,25$		$\frac{329,5}{261,5} \approx 1,26$
Мала терція	$\frac{6}{5} = 1,20$		$\frac{311,0}{261,5} \approx 1,19$
Мала секста	$\frac{8}{5} = 1,60$		$\frac{415,0}{261,5} \approx 1,59$
Велика секста	$\frac{5}{3} \approx 1,66$		$\frac{440,0}{261,5} \approx 1,68$

Існують різні аргументування доцільності рівномірно-темперованого строю. Слід звернути увагу студентів на наступне. Якщо б кожна октава ділилася значно більшим числом частин, ніж 12, то звучання декількох сусідніх нот викликало б биття.

Биття — явище, що виникає при накладанні двох періодичних коливань, наприклад, гармонічних, близьких за частотою. Амплітуда коливань при цьому періодично збільшується чи зменшується у часі з частотою, рівною різниці частот двох вихідних коливань. Це відбувається внаслідок того, що різниця фаз таких коливань з часом змінюється, через що фази періодично збігаються (коливання підсилюють одне одне) або стають протилежними (коливання взаємно ослаблюються).

Для простоти розрахунку візьмемо два гармонічних коливання з близькими частотами  $f$  і  $f + \Delta f$ , однаковими амплітудами  $A_1 = A_2 = A = 1$ . Приймемо, що початкові фази цих коливань  $\varphi_1 = \varphi_2 = 0$ . Тоді, застосовуючи тригонометричну формулу для суми синусів, отримаємо  $A \sin \omega t + A \sin(\omega + \Delta \omega)t = 2A(\cos \pi \Delta f t) \cdot \sin 2\pi f t$ . Це результуюче коливання відбуватиметься з частотою  $f$ , амплітуда якого буде



змінюватися за законом  $A_6 = 2A(\cos\pi\Delta f t)$ . На рис. 4 наведена осцилограма биття, отриманого при накладанні двох гармонічних коливань однакової амплітуди зі звуковими частотами 100 Гц і 104 Гц ( $\Delta f = 104 - 100 = 4$  Гц).

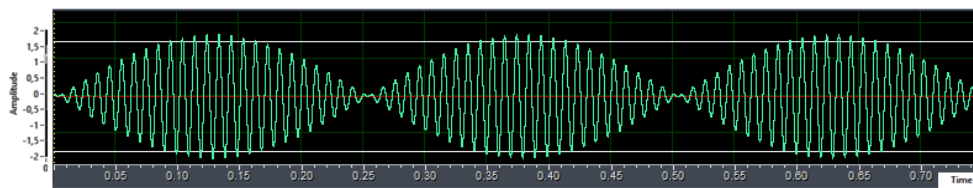


Рис. 4. Осцилограма, отримана у результаті накладання двох гармонічних коливань однакової амплітуди з частотами 100 Гц і 104 Гц

В музичній практиці явище биття використовується переважно при настроюванні музичних інструментів, а інколи для створення специфічного відтінку звука у роялях, акордеонах і баянах (так званого звучання «з розливом»).

**Поняття акустичного спектру.** Амплітудно-частотний спектр звуку – графік залежності відносної енергії звукових коливань від частоти. В залежності від структури спектра коливань середовища можемо виокремити як музичні звуки, так і шуми.

Музичні звуки, як правило, мають лінійчатий спектр з кратними частотами (по осі частот у вигляді вертикальних ліній зображають амплітуди гармонічних коливань, що входять до складу досліджуваного звучання).

Шум – це сукупність аперіодичних звуків різної інтенсивності й частоти (наприклад шелест листя). Шуми поділяються на стаціонарні та нестаціонарні. За характером спектра шуми бувають широкосмуговими та вузькосмуговими. За часовими характеристиками – постійними і непостійними (коливні, переривчасті, імпульсні). Шуму відповідає суцільний спектр, тобто набір частот неперервно заповнює деякий інтервал.

На рис. 5 наведено порівняльні спектри звучання ноти «ля» першої октави, отримані за допомогою синтезатора Medeli M311 при різних режимах його роботи. Електричний сигнал з виходу phones подавався на лінійний вхід звукової карти комп'ютера та оброблявся програмним спектралізатором Soundcard Score.

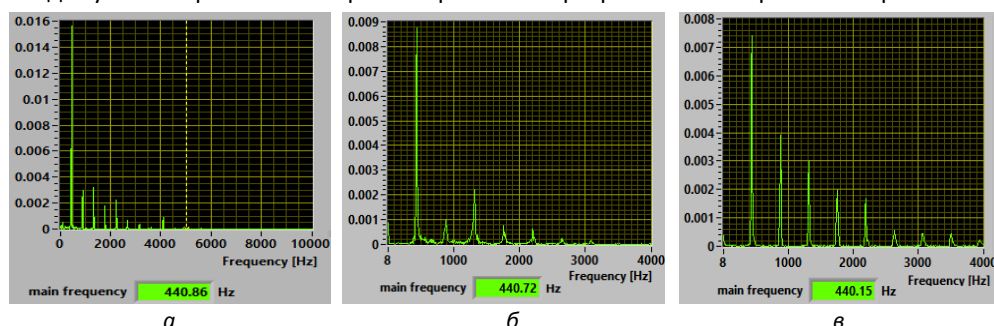


Рис. 5. Спектри звучання ноти «ля» першої октави, отримані синтезатором у режимі: а – Grand piano (рояль), б – Overdriven Guitar (електрогітара), в – Synth pad (глухий вібруючий синтезований звук)

Бачимо, що чим багатшим є тембр звуку, тим складніший спектр. Ще більш складним є спектр акорду. На рис. 6 показано спектр одночасного звучання двох нот. На графіку чітко вирізняються 2 основні лінії – перші гармоніки, що відповідають частотам 440 Гц (нота «ля» першої октави) і 567 Гц (нота «ре» другої октави).

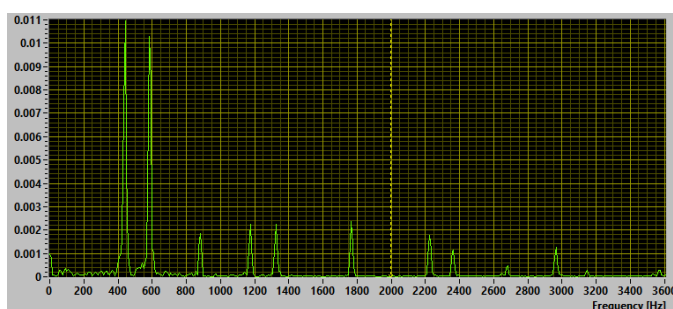


Рис. 6. Спектр звучання акорду (режим Grand piano)

Голосні звуки людського мовлення так само є коливаннями, близькими до періодичних, і містять крім основного тону вищі гармоніки (рис. 7,а, рис. 7,б). При їх вимовлянні максимальну амплітуду можуть мати

кілька гармонік, які називають формантами. Приголосні ж звуки представляють собою коливання, далекі від періодичних. Спектр цих звуків досить складний (рис. 7,в).

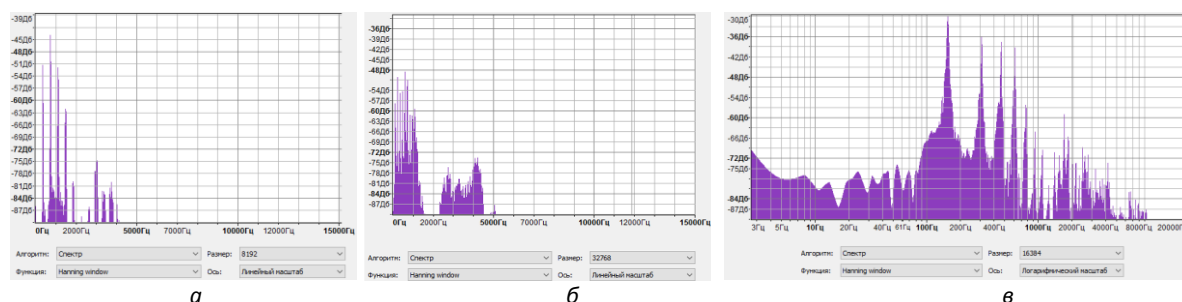


Рис. 7. Спектри звуків мовлення у програмі Audacity 2.1.0: а – голосний звук «а» (жіночий голос), б – голосний звук «а» (чоловічий голос), в – приголосний звук «с» (чоловічий голос)

Акустичні спектри у музиці аналізують з метою редагування звукозаписів і пошуку дефектів запису. Алгоритми спектрального аналізу покладено в основу багатьох програмних додатків. Так, сервіс Shazam, призначений для мобільних пристроїв і комп'ютерів, обладнаних мікрофоном, за фрагментом захопленого аудіосигналу здійснює онлайн пошук інформації про музичний твір. Сервіс використовує базу даних музичних композицій, яка на сьогоднішній день охоплює понад 11 мільйонів аудіотреків. Shazam відправляє спектр захоплених частот звуку на сервер і за певними точками спектру ідентифікує той чи інший твір.

**Фізичні особливості будови слухового аналізатора.** Вухо людини – це складний вестибулярно-слуховий орган, який виконує дві функції: сприймає звукові сигнали і відповідає за положення тіла в просторі і здатність утримувати рівновагу. Вухо складається з трьох відділів – зовнішнього, середнього та внутрішнього. Кожен з відділів має власну будову. Ми зупинимося лише на тих аспектах, що пов'язані з фізичними (переважно резонансними) явищами та пояснюють здатність сприймати звукові коливання у діапазоні частот від 20 до 20000 Гц.

Зовнішнє вухо складається із вушної мушлі, зовнішнього слухового проходу та барабанної перетинки.

Функція вушної раковини – вловлювати звуки. Складки людської вушної раковини вносять в сумарне звукове коливання, що поширюється через слуховий прохід, невеликі частотні спотворення. Обробка цих спотворень головним мозком й дозволяє реалізовувати горизонтальну та вертикальну локалізацію джерела звуку.

Слуховий прохід має довжину біля 21–27 мм, діаметр – 6–8 мм. Слуховий прохід виконує функцію проведення звукових коливань до барабанної перетинки. У наближенні його можемо вважати трубкою, закритою з внутрішньої сторони барабанної перетинкою. Тому він відіграє ще роль резонатора, що має власну частоту коливань (при  $t$  навколишнього середовища  $20^{\circ}\text{C}$ ) від 3170 до 4080 Гц.

Основною частиною середнього вуха є барабанна порожнина – невеликий простір об'ємом близько  $1\text{ см}^3$ , що знаходиться в області скроневої кістки. Тиск повітряного простору в порожнині середнього вуха дорівнює атмосферному. Це створює необхідні умови для нормальних коливань барабанної перетинки. Зрівнюванню тиску сприяє спеціальне утворення, що з'єднує порожнину середнього вуха з носоглоткою – так звана євстахієва (або слухова) труба. Під дією звукових хвиль барабанна перетинка (площа її поверхні складає  $S=70\text{--}80\text{ мм}^2$ ) коливається і передає ці коливання на слухові кісточки середнього вуха (молоточок, ковадло, стремінець), що діють як важелі та розгойдують перетинку овального вікна внутрішнього вуха. Оскільки площа цієї перетинки у 20–22 рази менша за барабанну, то амплітуда коливань зростає тут у відповідну кількість разів – відбувається підсилення сигналу.

Внутрішнє вухо через свою складну форму називають лабіринтом. До його складу входять три основні відділи: переддвер'я, півколові канали та завитка. За допомогою овального вікна внутрішнє вухо з'єднується із середнім. Коливаючись вперед-назад із певною частотою, овальне вікно внутрішнього вуха спричиняє у присіковому каналі відповідний рух біологічної рідини, що поширюється від основи до верхівки завитки [7]. Коливання цієї рідини подразнюють розташовані в завитці рецептори – еластичні волокна, загальне число яких досягає 24000. У основи завитки вони короткі (0,04 мм), тонкі й сильно натягнуті, а у вершини довгі (до 0,5 мм), більш товсті й менш натягнуті. Внаслідок явища резонансу виникають вібрації волокон певної довжини й товщини. Їхні коливання й формують нервові імпульси.

**Вимірювання рівня гучності в децибелах.** Якщо інтенсивність звуку збільшувати у геометричній прогресії, то відчуття гучності людиною буде змінюватися в арифметичній прогресії [8]. Цей закон отримав назву логарифмічного закону Вебера–Фехнера. Він справедливий не тільки для людського сприйняття гучності звуку, а й інтенсивності світла, сили механічного навантаження тощо [9].

Децибел (дБ) – одиниця вимірювання рівня гучності й підсилення потужності сигналу, значення якої дорівнює одній десятій бела. 1 Бел (Б) – одиниця рівня інтенсивності, яка відповідає зміні інтенсивності у

10 разів. Рівень гучності в децибелах ( $L$ ) обчислюється за формулою  $L = 10 \cdot \lg \left( \frac{I_2}{I_1} \right)$ , де  $\lg$  – десятковий логарифм,  $I_1$  і  $I_2$  – інтенсивність звуку відповідно до і після його зміни.

У багатьох розрахункових задачах в якості  $I_1$  доцільно брати інтенсивність звуку на порозі чутності ( $10^{-12} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$  при 1 кГц). Тоді закон Вебера-Фехнера формулюють наступним чином: рівень гучності звуку прямопропорційний десятковому логарифму відношення модуля інтенсивності даного звуку до інтенсивності цього звуку на порозі чутності.

Однак гучність не можна охарактеризувати лише зміною сили звуку, так як на сприйняття гучності людиною (суб'єктивно) впливає частотний склад звукового сигналу. Тому значення гучності (в децибелах) доцільно корелювати із чутливістю людського слуху на різних частотах (для цього використовують таблиці або спеціальний графік – криві рівних гучностей). Відкориговану таким чином одиницю гучності називають фоном.

**Висновки.** Матеріали даної статті підготовано на основі відкритої лекції, прочитаної нами для студентів КЗ «Севєродонецьке обласне музичне училище ім. С. С. Прокоф'єва» (27 березня 2017 року, м. Севєродонецьк), і відкритої навчальної студії (рис. 8), проведеної в МДЦ «Артек» у рамках Фестивалю освіти «Академістечко Артек» (25–26 квітня 2017 року, Пуща-Водиця, м. Київ).



Рис. 8. Відкрита навчальна студія (Фестиваль освіти «Академістечко Артек», 25–26 квітня 2017 р.)

Перелік апаратних і програмних засобів, що використовувалися під час цих заходів подано у табл. 2. Презентація лекції доступна за адресою <https://www.slideshare.net/AlexVoronkin/ss-73803208>.

Таблиця 2

**Апаратні та програмні засоби, використовувані під час відкритих навчальних студій**

№	Засіб	Призначення
1.	Світлодіодний проектор	Проекція відеозображення з виходу комп'ютера на екран
2.	Акустична система	Підсилення й відтворення звуку
3.	Мікрофон	Перетворення звукових коливань (звуків мовлення) на коливання сили електричного струму
4.	Одноголосний аналоговий синтезатор «ФАЭМИ»	Демонстрація за допомогою осцилографа залежності гучності звуку від амплітуди сили звуку та висоти тону від частоти коливань, демонстрація синтезу звуку
5.	Цифровий синтезатор Medeli M311 та робоча станція Korg KROSS	Відтворення тембрів різних музичних інструментів, їх аналіз
6.	Демонстраційний комплекс «Вступ до фізики звуку»	Демонстрація явища биття, консонансу та дисонансу, моделювання складних звуків і дослідження їх тембрів
7.	Два однакових камертони, настроєних на частоту 440 Гц, тягарець	Демонстрація явища биття
8.	Подвійний маятник	Демонстрація запису биття піском
9.	Soundcard Scope (ver. 1.41)	Генерація синусоїдального тону різної частоти, дослідження амплітудних і часових параметрів електричного сигналу, отриманих із входу звукової карти, спектральний аналіз музичних звуків
10.	Генератор НЧ «Авангард»	Генерація звукових коливань (синусоїдальний, прямокутний, трикутний симетричний, пилоподібний сигнали)
11.	Cool Edit (ver. 2.1)	Запис голосних і приголосних звуків, дослідження їх осцилограм
12.	Audacity (ver. 2.1.0)	Спектральний аналіз звуків мовлення з використанням перетворення Фур'є
13.	Shazam	Виявлення особливостей роботи програми при розпізнаванні музичних творів

Виходячи з того, що без вивчення фізики складно розвивати такі сторони мислення, як узагальнене розуміння дійсності, виявлення закономірних зв'язків, зв'язків з професійною діяльністю, важливим нашим завданням було формування міждисциплінарного інтересу до даної теми. Тому під час заняття ми намагалися створювати такі ситуації, щоб студенти на основі аналізу спостережень, демонстрацій вчилися самостійно робити висновки і узагальнення, відповідати на цікаві запитання, розв'язувати задачі. Приклади задач, які дозволили активізувати пізнавальний інтерес студентів наводимо нижче.

- Інтенсивність звуку складала  $10^{-10}$  Вт/м<sup>2</sup>. Обчисліть рівень звуку  $L$  (в децибелах).
- На скільки децибел збільшиться рівень  $L$ , якщо інтенсивність звуку зростає в: а) 100 разів, б) 10 000 разів?
- В аудиторії знаходяться три музичних інструмента, рівні яких  $L_1=60$ ,  $L_2=60$  і  $L_3=85$  децибел. Чому дорівнює рівень звуку  $L_{\text{загальний}}$  в аудиторії, якщо всі три інструменти звучатимуть одночасно?
- На скільки децибел зменшиться рівень гучності в концертному залі, де спочатку звучали 2 однакових музичних інструмента (рівень кожного 60 децибел), а потім лише один?
- Звук із частотою 1 кГц має рівень  $L=50$  децибел. Користуючись ізофонами визначить рівні гучності рівногучних з ним звуків з частотами 50 Гц, 300 Гц, 3 кГц, 5 кГц.

Вважаємо, що представлена нами розробка лекції представляє методичний інтерес і буде корисна викладачам ВНЗ культури і мистецтв I-II рівнів акредитації при підготовці до занять за темами «Звукові хвилі та їх характеристики», «Характеристики звуку», «Музикальні звуки і шуми. Гучність і висота звуку» та ін. Представлені результати також можуть використовуватися педагогічними працівниками загальноосвітніх, позашкільних, професійно-технічних навчальних закладів при розробці бінарних занять.

#### Список використаних джерел

1. Олійник Р. В. Про деякі особливості навчання фізики в класах гуманітарного профілю [Електронний ресурс] / Р. В. Олійник, О. М. Куракова // Збірник наукових праць фізико-математичного факультету Слов'янського державного педагогічного університету. – 2012. – Вип. 2. – С. 203–207. – Режим доступу : <http://www.slavdpu.dn.ua/fizmatzbirnyk/2012/203-207.pdf>. – Назва з екрана.
2. Суховірська Л. П. Формування уявлень еволюційно-синергетичної картини світу в учнів середніх навчальних закладів у процесі вивчення фізики [Електронний ресурс] / Л. П. Суховірська, М. І. Садовий // Вісник Чернігівського національного педагогічного університету імені Т. Г. Шевченка. – 2012. – Вип. 99. – Режим доступу : [http://www.nbu.gov.ua/portal/Soc\\_Gum/Vchdpu/ped/2012\\_99/Sykhov.pdf](http://www.nbu.gov.ua/portal/Soc_Gum/Vchdpu/ped/2012_99/Sykhov.pdf). – Назва з екрана.
3. Воронкін О. С. Проблеми навчання фізико-математичних дисциплін у вишах культури і мистецтв / О. С. Воронкін // Актуальні аспекти математичної підготовки в сучасних ВНЗ: погляд студентів і молодих вчених : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів і молодих вчених (Харків, 14–15 квітня 2015 року). – Х. : ХНАДУ, 2016. – С. 125–128.
4. Воронкін О. С. Проблеми формування природничо-наукової картини світу під час навчання фізики / О. С. Воронкін // Актуальні питання біологічної фізики та хімії : матеріали IX міжнар. наук.-техн. конф. (Севастополь, 22–26 квіт. 2013 р.). – Севастополь : СевНТУ, 2013. – С. 214–216.
5. Воронкін О. С. Презентація досвіду роботи секції «Експериментальна фізика» Комунального закладу «Луганська обласна мала академія наук учнівської молоді»: позашкільна підготовка обдарованої молоді до науково-дослідницької роботи / О. С. Воронкін // Матеріали VI Міжнародного фестивалю педагогічних інновацій (Черкаси, 19–20 вересня 2014 р.). – Черкаси : ЧОПОП, 2014. – С. 136–139.
6. Воронкін О. С. Особливості організації особистісно зорієнтованого навчання фізики у вищих мистецьких навчальних закладах I-II рівнів акредитації / О. С. Воронкін // Фізико-математична освіта. – 2016. – Вип. 4(10). – С. 21–24.
7. Вухо [Електронний ресурс] // Матеріал з Вікіпедії. – Режим доступу : <https://uk.wikipedia.org/wiki/Вухо>. – Назва з екрана.
8. Федорова В. Н. Медицинская и биологическая физика. Курс лекций с задачами : учеб. пособие / В. Н. Федорова, Е. В. Фаустов. – М. : ГЭОТАР-Медиа, 2008. – 592 с.
9. Закон Вебера – Фехнера [Електронний ресурс] // Матеріал з Вікіпедії. – Режим доступу : [https://uk.wikipedia.org/wiki/Закон\\_Вебера\\_—\\_Фехнера](https://uk.wikipedia.org/wiki/Закон_Вебера_—_Фехнера). – Назва з екрана.

#### References

1. Oliinyk R. V. Pro deiaki osoblyvosti navchannia fizyky v klasakh humanitarnoho profilu [Elektronnyi resurs] / R. V. Oliinyk, O. M. Kurakova // Zbirnyk naukovykh prats fizyko-matematichnoho fakultetu Slovianskoho derzhavnogo pedahohichnoho universytetu. – 2012. – Vyp. 2. – S. 203–207. – Rezhym dostupu : <http://www.slavdpu.dn.ua/fizmatzbirnyk/2012/203-207.pdf>. – Nazva z ekrana.
2. Sukhovirska L. P. Formuvannia uiaflen evoliutsiino-synerhetychnoi kartyny svitu v uchniv serednikh navchalnykh zakladiv u protsesi vyvchennia fizyky [Elektronnyi resurs] / L. P. Sukhovirska, M. I. Sadovyi // Visnyk



- Chernihivskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni T. H. Shevchenka. – 2012. – Vyp. 99. – Rezhym dostupu : [http://www.nbu.gov.ua/portal/Soc\\_Gum/Vchdpu/ped/2012\\_99/Sykhov.pdf](http://www.nbu.gov.ua/portal/Soc_Gum/Vchdpu/ped/2012_99/Sykhov.pdf). – Nazva z ekrana.
3. Voronkin O. S. Problemy navchannia fizyko-matematychnykh dysyplin u vyshakh kultury i mystetstv / O. S. Voronkin // Aktualni aspekty matematychnoi pidhotovky v suchasnykh VNZ: pohliad studentiv i molodykh vchenykh : materialy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii studentiv i molodykh vchenykh (Kharkiv, 14–15 kvitnia 2015 roku). – Kh. : KhNADU, 2016. – S. 125–128.
  4. Voronkin O. S. Problemy formuvannia pryrodnycho-naukovoï kartyny svitu pid chas navchannia fizyky / O. S. Voronkin // Aktualni pytannia biolohichnoi fizyky ta khimii : materialy IX mizhnar. nauk.-tekhn. konf. (Sevastopol, 22–26 kvit. 2013 r.). – Sevastopol : SevNTU, 2013. – S. 214–216.
  5. Voronkin O. S. Prezentatsiia dosvidu roboty sektsii «Eksperymentalna fizyka» Komunalnoho zakladu «Luhanska oblasna mala akademiia nauk uchnivskoi molodi»: pozashkilna pidhotovka obdarovanoi molodi do naukovo-doslidnytskoi roboty / O. S. Voronkin // Materialy VI Mizhnarodnoho festyvaliu pedahohichnykh innovatsii (Cherkasy, 19–20 veresnia 2014 r.). – Cherkasy : ChOPOPP, 2014. – S. 136–139.
  6. Voronkin O.S. Osoblyvosti orhanizatsii osobystisno zoriientovanoho navchannia fizyky u vyshchykh mystetskykh navchalnykh zakladakh I-II rivniv akredytatsii / O. S. Voronkin // Fizyko-matematychna osvita. – 2016. – Vyp. 4(10). – S. 21–24.
  7. Vukho [Elektronnyi resurs] // Material z Vikipedii. – Rezhym dostupu : <https://uk.wikipedia.org/wiki/Vukho>. – Nazva z ekrana.
  8. Fedorova V. N. Medicinskaja i biologicheskaja fizika. Kurs lekcij s zadachami : ucheb. posobie / V. N. Fedorova, E. V. Faustov. – M. : GJeOTAR-Media, 2008. – 592 s.
  9. Zakon Vebera – Fekhnara [Elektronnyi resurs] // Material z Vikipedii. – Rezhym dostupu : [https://uk.wikipedia.org/wiki/Zakon\\_Vebera\\_-\\_Fekhnara](https://uk.wikipedia.org/wiki/Zakon_Vebera_-_Fekhnara). – Nazva z ekrana.

#### SUBJECTIVE AND OBJECTIVE CHARACTERISTICS OF SOUND (METHODICAL DEVELOPMENT OF THE LECTURE)

O. S. Voronkin

*Prokofiev Severodonetsk regional music school, Ukraine*

**Abstract.** The article reveals the materials open lecture on the theme "Characteristics of sound", was delivered in public institutions "Severodonetsk regional music school. Prokofiev "in the framework of the discipline" Physics ". Consider objective (intensity, frequency, amplitude-frequency spectrum) and subjective (volume, pitch, timbre) of the sound characteristics, examines the relationship between them. Simplistically reveal the physical features of the structure of the auditory analyzer of man and of the mechanism of sound perception by the person. The expediency of use of a set of hardware and software in the study of this topic. The attention is focused on the application of computer modelling of acoustic phenomena and processes in order to improve the professional training of students of higher educational institutions of culture and arts I-II levels of accreditation. It is concluded that strengthening interdisciplinary connections in physics, mathematics, biology and music allows students to develop the ability to allocate the main thing in the training material, to compare, to generalize, to draw conclusions, develop observation, logical thinking, memory and attention.

**Keywords:** organization of teaching physics, intersubject connections, computer modelling.